



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## DOPRAVA KAPALIN OBSAHUJÍCÍ ABRAZIVNÍ ČÁSTICE.

THE DELIVERY OF THE MIXTURE CONTAINING ABRASIVE PARTICLES.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN HRABINA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV ŠTIGLER, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Martin Hrabina

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Doprava kapalin obsahující abrazivní částice.**

v anglickém jazyce:

### **The Delivery of the Mixture Containing Abrasive Particles.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V mnoha technologických procesech je třeba řešit problém dopravy kapalin, které obsahují abrazivní částice. Tento způsob dopravy je investičně i provozně náročný. Konstrukce zařízení, která jsou k tomuto druhu dopravy využívána se od zařízení pro čisté kapaliny konstrukčně odlišují a při návrhu takovéto dopravy je třeba na to brát zřetel.

Cíle bakalářské práce:

Cílem této práce je seznámit se s problematikou dopravy kapalin, které obsahují abrazivní částice. V bakalářské práci by mělo být uvedeno:

- Příklady kde se s takovým způsobem dopravy můžeme setkat.
- Charakter či typy abrazivních částic.
- Typy čerpadel, či čerpacích zařízení používaných pro dopravu takovýchto směsí.
- Konstrukční úpravy či řešení čerpadel pro dopravu abrazivních směsí.
- Materiály či způsoby jakými se můžeme chránit před abrazivním opotřebením.

Seznam odborné literatury:

Podklady poskytnuté vedoucím diplomové práce.

Internet

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Cílem této práce je provést rešerši dopravního zařízení, která jsou v průmyslu používána pro dopravu kapaliny s obsahem abrazivních částic. Celá práce je rozdělena do několika kapitol. První část práce se zabývá pohybem kapaliny v čerpacím zařízení. Druhá část popisuje jednotlivé části čerpadel, zdůrazňují odlišnosti a výhody. V práci jsou uvedena také potrubí, která jsou používána k výše zmíněné dopravě.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Částice, čerpadlo, oběžné kolo, opotřebení, hydrosměs

## ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is focused on description of the transport equipment parts used in some industries for delivering of the mixture containing abrasive particles. The thesis is divided into some captures. Each of them deals with the transport issues. The first part of the thesis is focused on the flow of liquid in transport equipment. Second part describes particular parts of pumps and compares various kinds of them, highlighting their advantages. One of the significant topics of the thesis is the characterisation of pipeline using for the above mentioned transport.

## KEYWORDS

Particle, pump, impeller, wear, mixture

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRABINA, M. *Doprava kapalin obsahující abrazivní částice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, s pomocí uvedené použité literatury a rad vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jaroslava Štiglera, Ph.D.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....

Martin Hrabina

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu doc. Ing. Jaroslavu Štiglerovi, Ph.D., za cenné rady při tvorbě bakalářské práce, dále firmě CAB minerals s.r.o., za poskytnutí užitečných materiálů.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1. OBLASTI POUŽITÍ.....</b>	<b>10</b>
<b>2. VLASTNOSTI HYDROSMĚSÍ.....</b>	<b>11</b>
<b>3. ABRAZIVNÍ ČÁSTICE.....</b>	<b>12</b>
3.1    GEOMETRIE .....	12
3.2    TVRDOST .....	12
3.3    OPOTŘEBENÍ .....	13
<b>4. PROUDĚNÍ HYDROSMĚSÍ.....</b>	<b>14</b>
4.1    POHYB ČÁSTIC V HYDROSMĚSÍ .....	14
4.2    RYCHLOST PROUDĚNÍ .....	15
<b>5. ČERPADLA.....</b>	<b>17</b>
5.1    HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA.....	17
5.1.1    OBĚŽNÁ KOLA.....	18
5.1.2    SPIRÁLA .....	22
5.1.3    MATERIÁLOVÁ OCHRANA .....	24
5.1.4    HŘÍDELOVÁ TĚSNĚNÍ .....	25
5.1.5    PONORNÁ ČERPADLA.....	29
5.2    HYDROSTATICKÁ ČERPADLA .....	30
5.2.1    JEDNOVŘETENOVÁ ČERPADLA .....	30
5.2.2    PERISTALICKÁ ČERPADLA.....	31
5.2.3    PÍSTOVÁ ČERPADLA .....	32
5.2.4    PÍSTOMEMBRÁNOVÁ ČERPADLA.....	33
5.3    PROUDOVÁ ČERPADLA .....	34
5.3.1    MAMUTOVÁ ČERPADLA .....	34
<b>6. POTRUBÍ.....</b>	<b>35</b>
6.1.1    OCELOVÁ POTRUBÍ.....	35
6.1.2    HADICE .....	36
<b>7. SYSTÉMY DOPRAVY HYDROSMĚSÍ.....</b>	<b>37</b>
7.1    KOMOROVÝ DÁVKOVAČ .....	37
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>38</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>



# ÚVOD

Problematika proudění kapaliny obsahující pevné látky jak čerpacím zařízením, tak potrubním systémem, je objektem řady výzkumných a vývojových pracovišť od 50. let minulého století. Kapalina je jedním ze tří stavů látek existujících na Zemi a může přecházet ze stavu kapalina-plyn, kapalina-pevná látka a opačně. Čistá voda se v průmyslových oblastech vyskytuje jen zřídka, a to pouze taková, která je určena ke konzumaci a dodávaná vodovodním řádem. V průmyslových aplikacích je voda mísená s pevnými příměsemi a vytváří směs. Tato směs má odlišné vlastnosti od čisté kapaliny, což se nejvíce projevuje při jejím proudění v dopravním zařízení, kdy unášené částice mohou poškodit dopravní zařízení a snižují jeho životnost.

V proudu kapaliny jsou přítomny abrazivní částice, které se vyznačují vyšší tvrdostí, než jiné pevné látky. Kapalina s obsahem abrazivních částic je nebezpečná a zařízení pro dopravu je proto nutné přizpůsobit konstrukčně a materiálově. Výpočty, které vedou ke správnému výběru odolného materiálu, tvar součástí dopravního zařízení nelze přesně určit a provádí se pomocí matematických modelů, jejímž výsledkem je pouze odhad. Konečný výsledek určuje až experimentální zkouška v laboratoři.

Při hydraulické dopravě kapaliny jsou základními částmi hydrodopravního systému potrubí a čerpadlo. Čerpadlo slouží jako zdroj měrné energie a potrubí je jejím spotřebičem. Kapalina je považována za pracovní médium hydraulických strojů a v čerpací technice slouží jako nositelka hydraulické energie [1].

Práce je zpracována na základě pramenů a informací od předních výrobců čerpadel a potrubí, kteří se zabývají problematikou dopravy kapalin s abrazivní příměsí. Při volbě vhodného typu čerpadla je nutné vycházet z předchozích zkušeností a doporučení výrobcem čerpadel uvedených v katalogu, kde jsou shrnuty nejen konstrukční úpravy.

# 1. OBLASTI POUŽITÍ

S dopravou kapalin obsahující pevné (abrazivní) částice je možné se setkat například v těchto oblastech:

- Uhlerný průmysl
- Důlní průmysl - těžba nerostných surovin, zakládání prohloubených dolů
- Tepelné elektrárny – ukládání odpadu, doprava popílku na odkaliště
- Odstraňování usazenin ze dna toků
- Stavební průmysl – doprava maltoviny a betonových směsí

Při dopravě hydrosměsí s menší viskozitou jsou používána, mamutová a bagrovací čerpadla. Naopak směsi s vyšší viskozitou jsou dopravovány hydrostatickými čerpadly. Ukázky jednotlivých odvětví průmyslu je možno vidět na obrázcích níže [1], [2].



*Obr. 1 Čerpání uhlerných kalů z rybníka ponorným čerpadlem [3]*



*Obr. 2 Čerpání znečištěné vody ve stavebním průmyslu [4]*



*Obr. 3 Čerpací stanice v hlubinném dole [5]*



*Obr. 4 Odčerpávání vody s jemnými částicemi při úpravě kamene [3]*

## 2. VLASTNOSTI HYDROSMĚSÍ

Aby byl provoz hydrodopravního zařízení spolehlivý, je nutné znát charakteristiky potrubí a čerpadla společně s charakteristikou dopravované kapaliny s příměsí pevných látek, a to především vlastnosti částic obsažených v kapalině.

Kapalina obsahující jakékoliv pevné částice se nazývá suspenze neboli směs. Suspenze obsahuje dvě látky neboli fáze (pevnou a kapalnou) z nichž jedna je rozptýlena v druhé ve formě částic.

Podle velikosti částic (zrn) lze rozlišovat několik typů suspenze (Obr. 5). [1]

Suspenze	Velikost částice $d_p$ [mm]
<b>Kineticky stálé suspenze</b>	
Analytická	$d_p \leq 10^{-6}$
Koloidní	$10^{-6} < d_p \leq 10^{-3}$
<b>Kineticky nestálé suspenze</b>	
Strukturní	$10^{-3} < d_p \leq 5 \cdot 10^{-2}$
Jemnozrná	$5 \cdot 10^{-2} < d_p \leq 2 \cdot 10^{-1}$
Hrubodisperzní	$2 \cdot 10^{-1} < d_p \leq 2$
Heterogenní	$d_p > 2$

Obr. 5 Velikosti částic [1]

**Strukturní a hrubší suspenze** lze řadit do soustavy heterogenní, neboť částice jsou větší, okem viditelné a přechod mezi kapalnou a pevnou fází je velký. Tento druh suspenze je vzhledem k velikosti částic řazen mezi nestálé. Tato práce se bude dále zabývat především heterogenní soustavou.

**Koloidní suspenze** obsahují jemnější částice než strukturní a patří do soustavy homogenní. Částice analytické dosahují velmi malých rozměrů. Jak sám název napovídá, zjišťování daných rozměrů je prováděno analyticky. Stejně jako rozměry koloidních částic, i tyto jsou tak malé, že je nelze vidět pouhým okem. Proto se ke zjištění používá ultramikroskop nebo elektronový mikroskop.

**Analytické částice** se vyskytují stejně jako koloidní ve stavu homogenním. Koloidní a analytické suspenze jsou řazeny mezi stálé. S ohledem na jejich velikost částic, lze kapalinu považovat za kontinuální látku [1], [6].

### 3. ABRAZIVNÍ ČÁSTICE

Abrazivní částice jsou přítomny ve všech výše zmíněných oblastech. Důležitými vlastnostmi abrazivních částic jsou geometrie, tvrdost a hustota. S ohledem na jejich vlastnosti je kladen důraz na volbu velikosti součástí čerpacích zařízení (průchodnost oběžných kol, průměr hadic, potrubí apod.) a jejich materiálové provedení, které chrání nebo alespoň snižuje míru opotřebení [7].

#### 3.1 GEOMETRIE

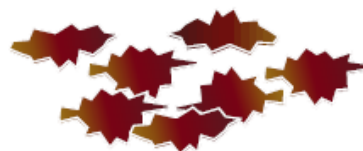
Geometrii lze charakterizovat zrnitostí (velikostí) a tvarem zrn.

Tvar je funkcí složení a velikostí. Rozsah je od sférických tvarů (např. zrna křemene) až po ostrohranné (např. stěpiny) proto je tvar zrn dělen na dvojí typ a to kulatý nebo ostrohranný [2], [3], [4].

Velikost částice je uvedena na Obr. 5.



Obr. 6 Kulatý tvar zrna [2]



Obr. 7 Ostrohranný tvar zrna [2]

#### 3.2 TVRDOST

Z hlediska opotřebení je významnou vlastností částic kromě hustoty také tvrdost. Podle tvrdosti je vybírán materiál, který je odolný proti opotřebení. Hodnota tvrdosti součástí v kontaktu s hydrosměsí by měla být větší než hodnota tvrdosti částice. Částice s větší hustotou mají větší kinetickou energii a výrazněji ovlivňují opotřebovávaný povrch. U houževnatých materiálů jsou částice obrušovány. Přehled materiálů a jím příslušející tvrdost (měřeno metodou podle Vickerse) jsou shrnuty na Obr. 8 [6], [7].

Minerální látka	Tvrdost (HV)	Minerální látka	Tvrdost (HV)
Sádrovec	36	SiC	2600
Vápenec	140	Diamant	10000
Fluorit	190	B4C	3700
Apatit	540	Hematit	470-650
Sklo	500	Křemen	900-1280
Živec	600-750	Pazourek	800-1100
Topas	1430	Korund	1800-2000

Obr. 8 Tvrdosti vybraných částic [8]

### 3.3 OPOTŘEBENÍ

Každý z tvaru částice zanechává při kontaktu s povrchem součásti jiný reliéf. Kulatá zrna vytvářejí na povrchu důlky, kdežto ostrohranná zrna rýhují povrch a způsobují tak škrábance. Při kontaktu (dopadu) částice na povrch může dojít k jejímu roztříštění na částice menších rozměrů [7].

Na vznik nových částic oddělených z povrchu součásti mají největší vliv ostrohranné částice a jejich úhel dopadu na povrch, přičemž za kritický je udáván úhel  $90^\circ$ . Čím více se částice odlišují od kulatého tvaru, tím větší je úběr materiálu z povrchu součásti [8].

Dopad částic na povrch tvar jejich rýh jsou uvedeny na obrázcích níže.



*Obr. 9 Deformace povrchu [9]*



*Obr. 10 Řezání povrchu ostrohrannými částicemi [9]*



*Obr. 11 Tvorba trhlin v materiálu [9]*

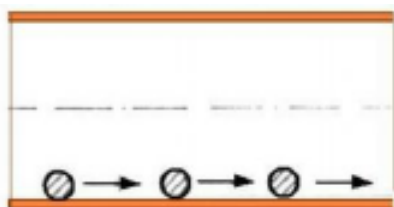
## 4. PROUDĚNÍ HYDROSMĚSI

### 4.1 POHYB ČÁSTIC V HYDROSMĚSI

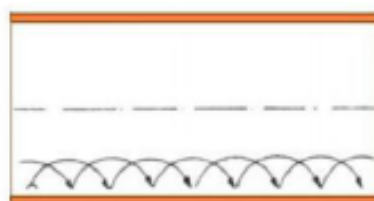
Tokové vlastnosti suspenze závisí na poměru kapaliny a množství částic, na zrnitostním složení (velikosti částic) a tvaru zrna. Při toku kladou částice vůči kapalině odpor, který se zvětšuje s velikostí částice [1].

Při sledování pohybu částic lze pozorovat několik fází pohybu v závislosti na rychlosti proudění. Situace, které mohou při pohybu částic v proudící směsi v potrubí nastat, jsou následující:

- Zpočátku jsou částice usazeny na spodní stěně a nedochází k jejich pohybu.
- Částice se začnou pohybovat až po dosažení určité rychlosti proudění. Jde o pohyb klouzavý, popřípadě valivý, pokud se jedná o kulaté tvary částic. (Obr. 12) [6].

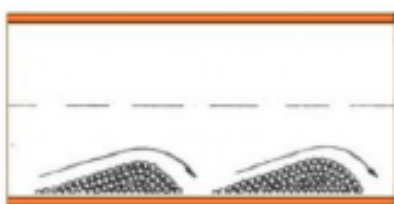


Obr. 12 Pohyb klouzavý nebo valením [6]

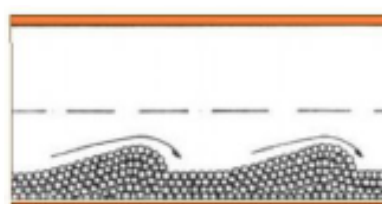


Obr. 13 Pohyb saltací [6]

- Dalším zvýšením rychlostí proudění se začnou částice odrážet od spodní stěny (pohyb saltací, Obr. 13). Při této rychlosti se po určité době vytváří vrstva (Obr. 14), která zužuje průřez potrubí a nad níž je rychlost proudění větší, neboť se zužujícím se průřezem rychlost proudění kapaliny roste [2].



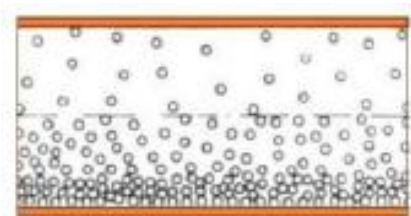
Obr. 14 Pohyb ve vrstvách [6]



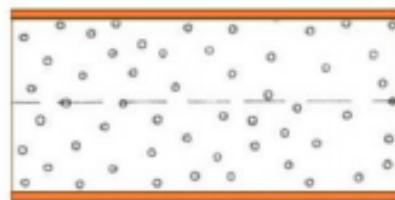
Obr. 15 Vrstva s nánosem [6]

- Při opětovném zvýšení rychlosti jsou nad touto vrstvou částice unášeny v proudě kapaliny bez kontaktu se dnem. Za vrstvou je prostor větší, tudíž dochází ke snížení rychlosti. Jelikož rychlost za touto vrstvou nemusí být dostatečná k udržení některých částic ve vznosu, mohou se částice usadit na spodní stěně, kde vytváří nánosovou vrstvu (Obr. 15) [6].

- Jednotlivé vrstvy se rozpadají vlivem dalšího zvýšení rychlosti. Proud kapaliny s částicemi snižuje velikost vrstvy a vytváří nánosy pevných částic, které jsou za vrstvami (Obr. 16) [6].



Obr. 16 Pohyb s nánosem [6]



Obr. 17 Unášené částice v proudu kapaliny [6]

- Pokud rychlost naopak začne klesat, částice s největší velikostí začnou opouštět prostor vnosu nejdříve, ale pohyb bude trvat déle i při menších rychlostech, než pohyb malých částic. Z toho vyplývá, že nejdříve jsou nacházeny částice větší a pod nimi menší. To znamená, že k dosažení vnosu částic je potřeba větší rychlosti, než je rychlost nutná k udržení částice ve vnosu [6].
- Při proudění pouze homogenní soustavy je koncentrace částic v suspenzi a rychlost symetrická v celém průřezu potrubí (Obr 17). Částice se neusazují na dně a při dopravě čerpadly je dopravní výška téměř stejná jako u čisté kapaliny [6], [2].

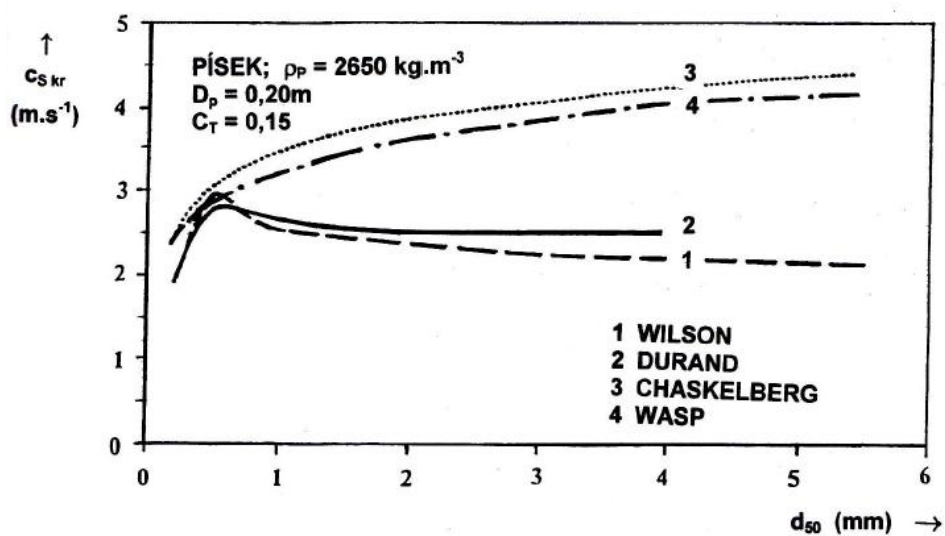
## 4.2 RYCHLOST PROUDĚNÍ

„Rychlost proudění je rychlost, při jejíž hodnotě částice vykazují v proudu směsi určité chování v závislosti na velikosti této rychlosti. Určuje se z rychlosti kritické, při které částice začnou vypadávat ze vnosu a vytvářet usazeniny na dně potrubí.“[1, str. 183]

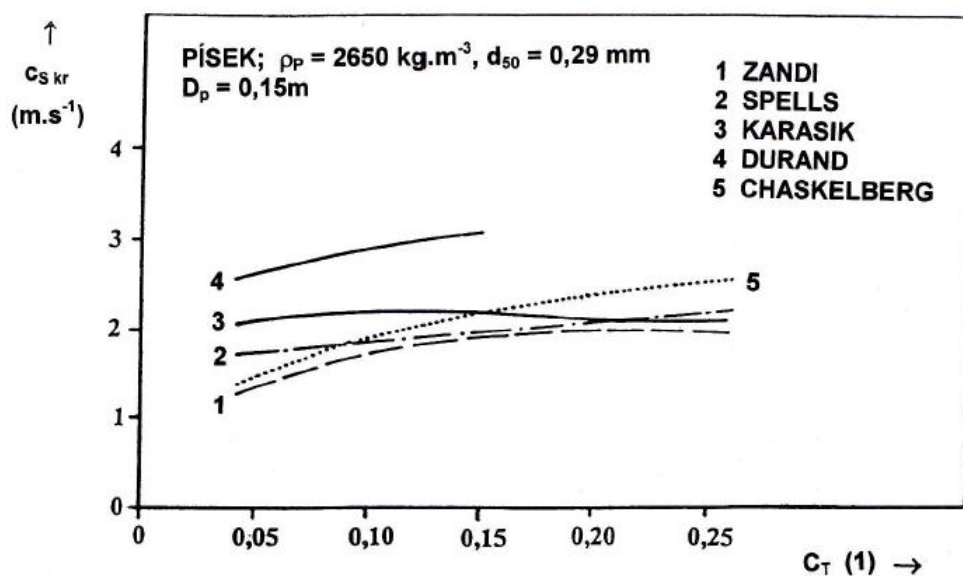
Hodnoty kritických rychlostí při měnící se koncentraci nebo velikosti zrna byly zkoumány různými autory. (Obr. 18 a Obr. 19) [1].

Podle hodnoty kritické rychlosti je volena rychlost skutečná neboli provozní, která je vyšší o 10 až 20 %. Při volbě režimu proudění je lepší přizpůsobit rychlost proudění k vytvoření nánosů, neboť otěr potrubí, částí čerpadel je menší a náklady na opravu jsou tak na stejné úrovni při větším potrubí. Je ovšem potřeba brát zřetel na nebezpečí usazení mnoha částic v úseku tvorby nánosů, což může způsobit ucpání potrubí. Riziko ucpání je tady větší než u jiných typů, na druhou stranu míra abraze je snížena [6].





Obr. 18 Graf znázorňující hodnoty kritické rychlosti suspenze (voda-písek) v závislosti na středním průměru částice, při konstantní transportní objemové koncentraci ( $C_T$ ) a konstantním průměru potrubí ( $D_p$ ) [1]



Obr. 19 Graf znázorňující hodnoty kritické rychlosti suspenze (voda-písek) v závislosti na transportní objemové koncentraci ( $C_T$ ), při konstantní střední velikosti částice a konstantním průměru potrubí ( $D_p$ ) [1]



## 5. ČERPADLA

### 5.1 HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA

Hydrodynamická čerpadla dopravují směsi při nižších tlacích a větších průtocích. Jsou vhodná pro přepravu směsí o koncentraci částic do 20 % a velikostí částic až 250 mm. Vhodnými zástupci z oblasti hydrodynamických čerpadel jsou kalová, která jsou také často označována jako bagrovací. Čerpadla se zhotovují jako jednostupňová v horizontálním, vertikálním provedení nebo ponorné.

Bagrovací čerpadla pracují s otáčkami nižšími než čerpadla na čistou vodu, a tak je potřeba počítat s nižší účinností, v některých případech až o 20 %. Čerpadla jsou vyráběna tak, aby měla co nejjednodušší konstrukci, aby byla lehce vyjímatelná (díky hydraulické části) a šlo je jednoduše nahradit za nové. Díly hydraulické části jsou nejvíce trpící abrazí: oběžné kolo, spirála, sací a výtlačná část, hřídelové těsnění. Tyto části budou podrobněji popsány v dalších kapitolách. [1], [6].



Obr. 20 Horizontální bagrovací čerpadlo [6]



Obr. 21 Vertikální bagrovací čerpadlo [6]

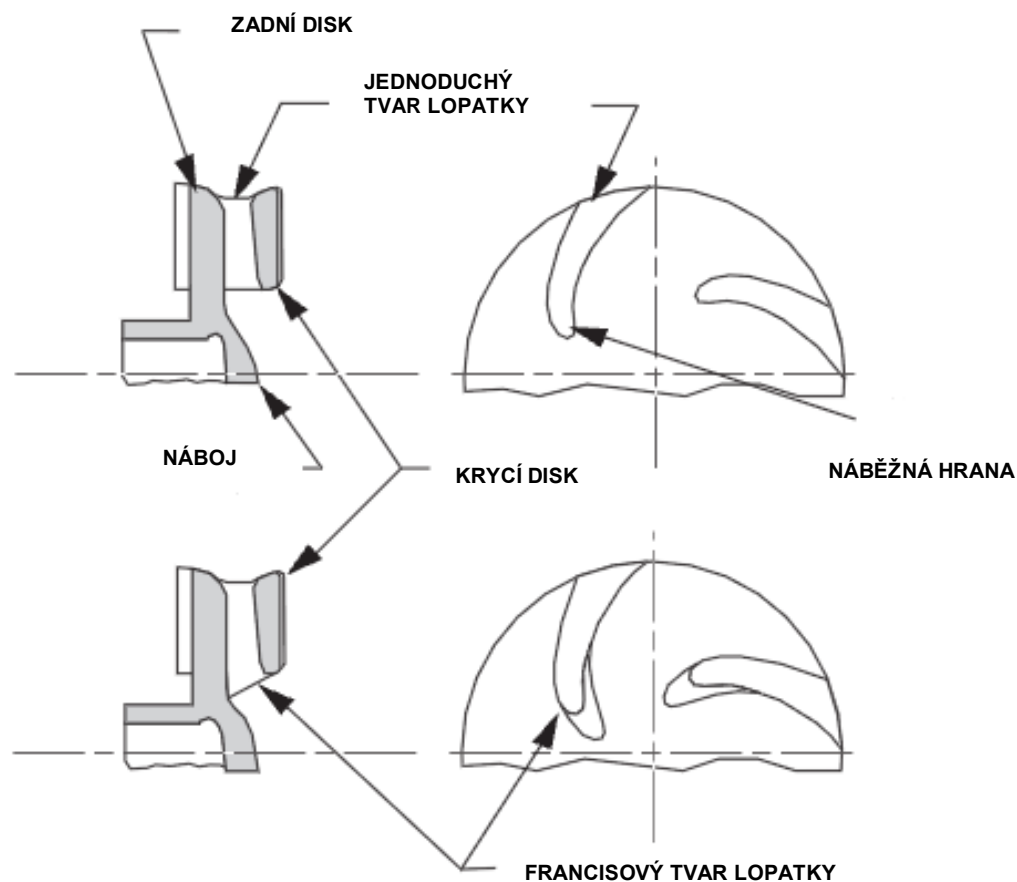


Obr. 22 Ponorné čerpadlo [6]

### 5.1.1 OBĚŽNÁ KOLA

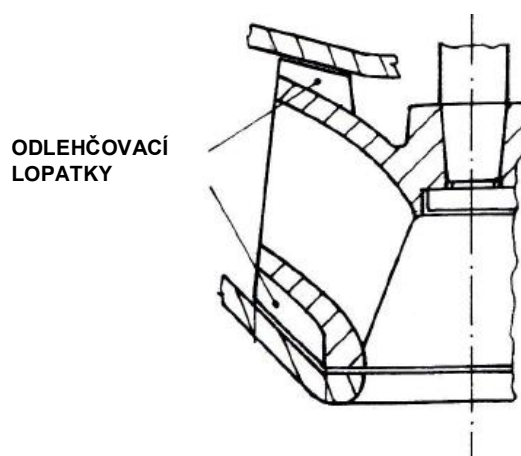
Oběžná kola musí mít dostatečně velké kanály pro průchod materiálu. Počet lopatek je od jedné až do pěti. U oběžných kol lze rozlišovat Francisový a jednoduchý (rovný) tvar lopatek (Obr. 23).

Rovné lopatky oběžného kola mají čelní hranu k zadnímu krytu stejně vysoko, kdežto Francisova lopatka má náběžnou hranu vyčnívající z oběžného kola. Výhodou Francisových lopatek je lepší sací výkon s menším úhlem dopadu částic na povrch oběžného kola, protože úhel nasávající kapaliny a lopatky je stejný [1], [10].



Obr. 23 Profil oběžného kola s jednoduchým a Francisovým tvarem lopatky [10]

Další výhodnou úpravou jsou odlehčovací lopatky na vnější ploše krycího disku (Obr. 24), které snižují abrazi mezi spirálou čerpadla a vnějšími lopatkami oběžného kola [1].



Obr. 24 Odlehčovací lopatky [1]

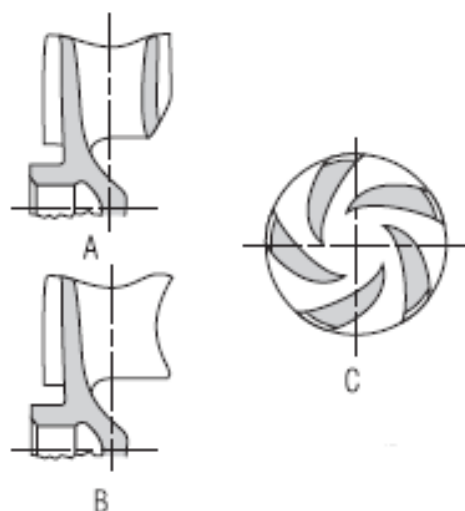
## **STANDARDNÍ OBĚŽNÁ KOLA**

Oběžná kola můžeme rozdělit nejen podle počtu lopatek, ale také podle krycího disku na uzavřená, polootevřená a otevřená.

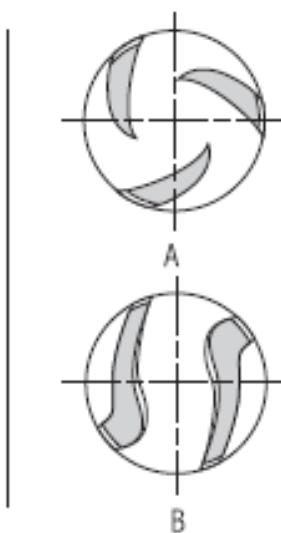
Otevřená oběžná kola jsou lépe uplatňována v menších čerpadlech, především z důvodu možnosti blokování částic v uzavřeném oběžném kole a následným ucpáním nebo pro případ pění kapaliny.

Uzavřený typ oběžného kola je výhodné použít pro lepší vyvádění částic odstředivou silou z prostoru mezi spirálou a oběžným kolem, čímž dojde ke snížení opotřebení [10].

STANDARDNÍ OBĚŽNÁ KOLA



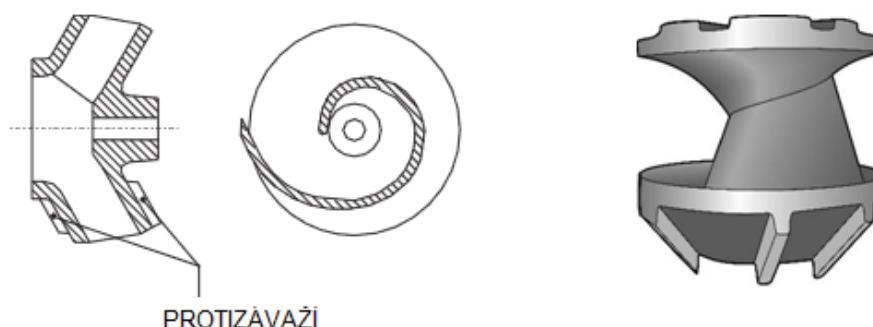
NESTANDARDNÍ OBĚŽNÁ KOLA



Obr. 25 Standardní oběžná kola: A) Uzavřená, B) Otevřená, C) Pětílopatková; Nestandardní: A) Třílopatkové šterkové, B) Dvoulopatkové speciální [10]

### a) JEDNOLOPATKOVÉ OBĚŽNÉ KOLO

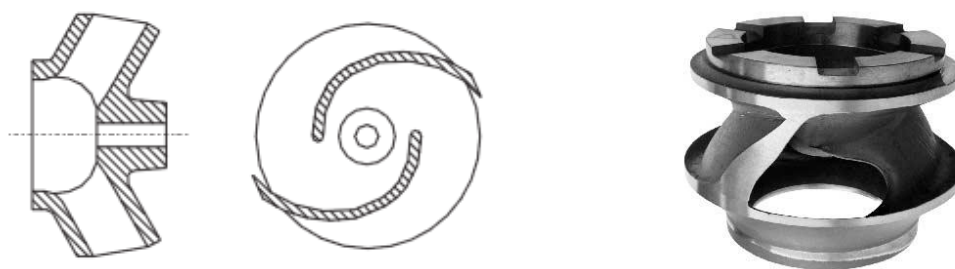
Umožňuje průchod velkých rozměrů částic, přičemž vstupní hrana usnadňuje průchod také vláknitých látek (Obr. 26). Asymetrický tvar vyžaduje protizávaží k dosažení rovnováhy [12].



Obr. 26 Jednolopatkové uzavřené oběžné kolo [11]

### b) DVOULOPATKOVÉ OBĚŽNÉ KOLO

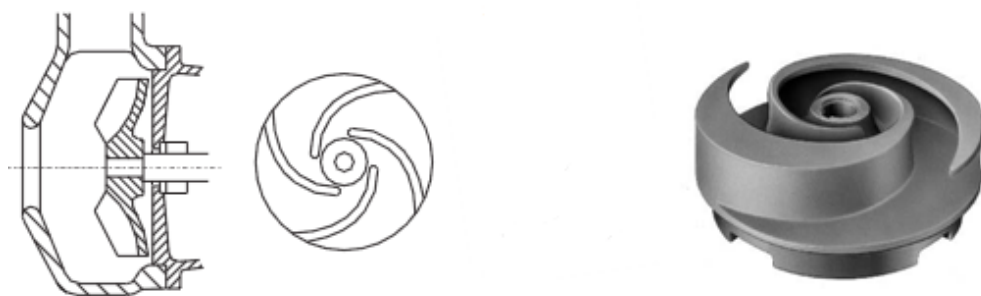
Vhodné při čerpání jemnozrnných hydrosměsí. Průchodnost oběžného kola je od 100mm. (Obr. 27) [11].



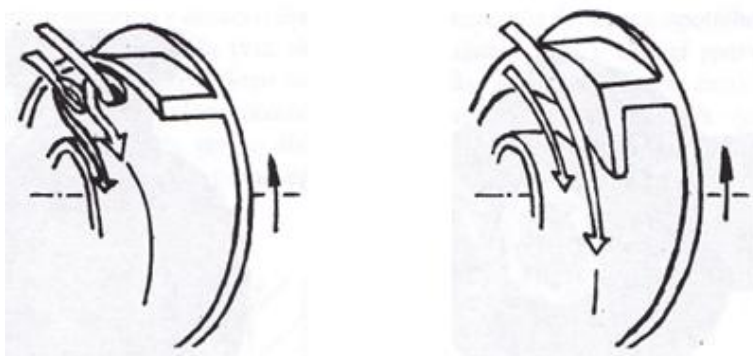
Obr. 27 Dvoulopatkové uzavřené oběžné kolo [11]

### c) VÍŘIVÉ OBĚŽNÉ KOLO VORTEX

Oběžné kolo vytváří silný vír směsi, který snižuje možnost ucpání a minimalizuje kontakt proudících částic s částmi čerpadla. Účinnost je stejná jako u jednolopatkového čerpadla v rozsahu průtoku od 3 až po 15 l/s. Oběžné kolo může mít na čele oběžných lopatek límce, které zabraňují vznik dalších vírů směsi na hranách (Obr. 29) [1], [11].



*Obr. 28 Vířivé oběžné kolo Vortex [11]*



*Obr. 29 Proudnice kapaliny v kanálu vířivého oběžného kola s použitím krycího límce (vpravo) a bez krycího límce (vlevo) [1]*

#### **d) VÍCELOPATKOVÉ OTEVŘENÉ OBĚŽNÉ KOLO**

Vícepatkové otevřené kolo je využíváno pro směsi s větší viskozitou a pro jemnější částice pevné látky (Obr. 30) [12].



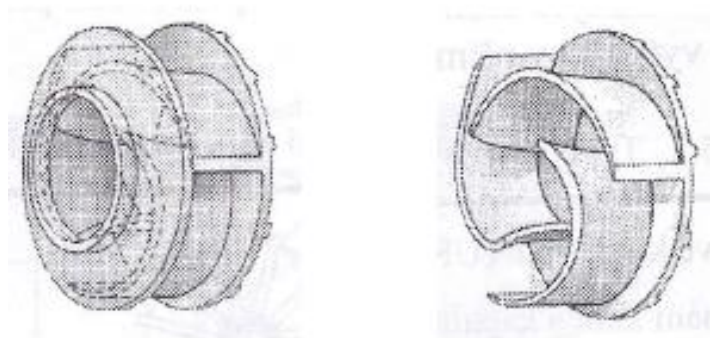
*Obr. 30 Vícelopátkové otevřené oběžné kolo [12]*

## **NESTANDARDNÍ OBĚŽNÁ KOLA**

V některých případech je potřeba odklonit se od standardních oběžných kol a použít nestandardní kola (Obr. 25).

Při čerpání směsi obsahující částice velkých rozměrů může dojít k ucpání standardního pětilopátkového uzavřeného oběžného kola. Proto je lepší zvolit takové oběžné kolo, které má stejné rozměry, ale disponuje pouze čtyřmi lopatkami.

K čerpání hydrosměsi s obsahem abrazivních a vláknitých materiálů jsou výhodná speciální dvoulopátková otevřená oběžná kola. K čerpání strusky a popílku jsou používány nestandardní třílopatková oběžná kola (Obr. 31) [10].



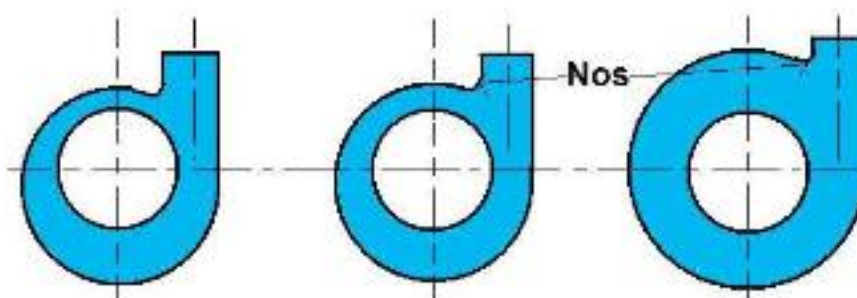
*Obr. 31 Uzavřené (vlevo) a otevřené (vpravo) třílopatkové oběžné kolo [14]*

### **5.1.2 SPIRÁLA**

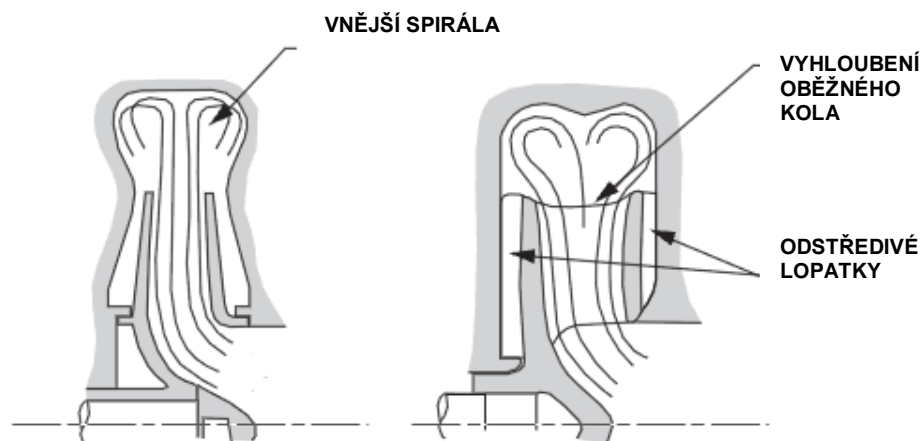
Spirála musí umožňovat snadnou montáž a demontáž z důvodu časté výměny ostatních dílů čerpadla. Nejlepší spojení dvou dílců je za pomoci dvou šroubů. Nejčastěji používané typy spirál jsou znázorněny na obrázku Obr. 32 [13].

Abrazi lze snížit následujícími úpravami:

- Zakulacený nos spirály.
- Prostor mezi nosem a spirálou je větší než u jiných druhů.
- Změna proudnice kapaliny úpravou průřezu spirály na tvar lichoběžníkový zaoblený (Obr. 33) [14].



*Obr. 32 Zleva: klasická spirála, pseudocentrická, centrická [14]*



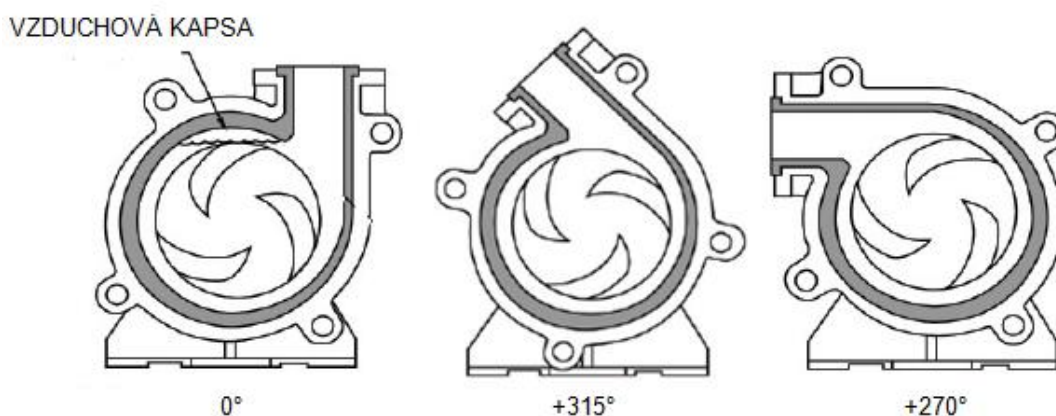
*Obr. 33 Změna proudnice pro čistou vodu (vlevo) a pro kapaliny s obsahem abrazivních částic (vpravo) [14]*

### **POLOHY SPIRÁLY HORIZONTÁLNÍHO ČERPADLA**

Problémem při čerpání může být nedostatečné množství kapaliny na sání a vytvoření vzduchové kapsy (Obr. 32) v horní části spirály. Vzduchová kapsa snižuje výkon čerpadla a zabraňuje pohybu kapaliny.

Řešením tohoto problému je otočit výtlačnou část čerpadla po směru hodinových ručiček o  $315^\circ$  nebo  $270^\circ$  a zabránit tak vytvoření vzduchové kapsy v horní části. Otočením je vzduchová kapsa posunuta na náboj oběžného kola, kde nezpůsobuje kolísání průtoku [10], [13].

Dalším důvodem otáčením je snadnější napojování výtlačného potrubí.



*Obr. 34 Polohy čerpadel [10]*



### 5.1.3 MATERIÁLOVÁ OCHRANA

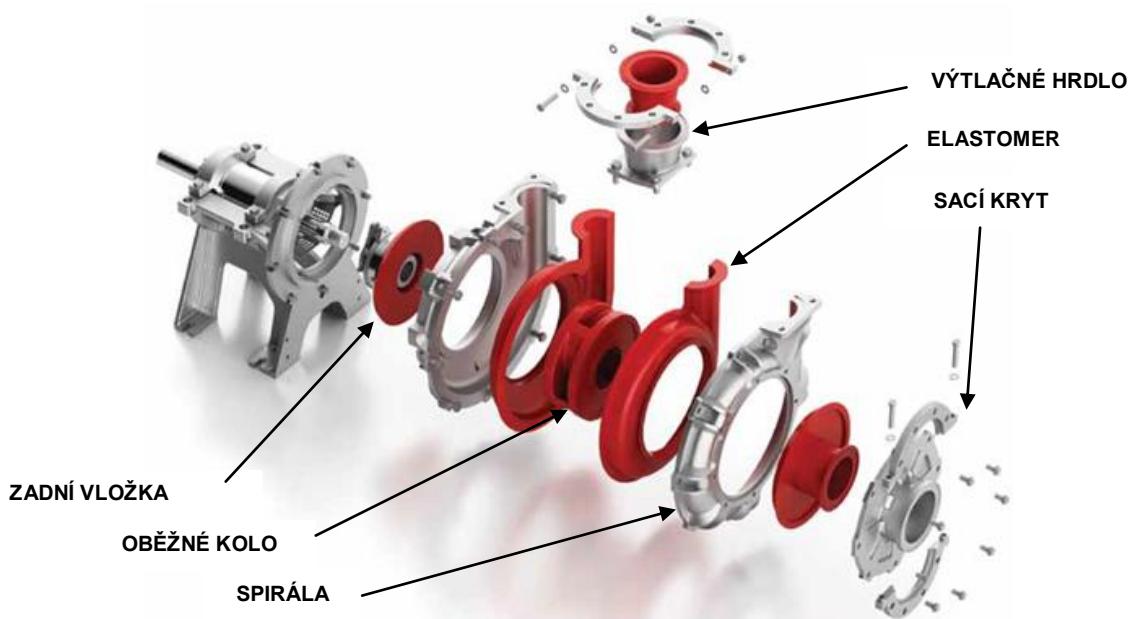
Ty části čerpadel, které přicházejí do kontaktu s hydrosměsí, musí být snadno přístupné, neboť jejich výměna probíhá častěji než při dopravě čisté vody. Hydraulická část menších čerpadel je vyráběna celá z otěruvzdorného materiálu, ale u větších čerpadel se jedná pouze o tyto části: Oběžné kolo, těsnění, spirála, výtlačné hrdlo a sací hrdlo [13].

#### a) Kaučuková úprava materiálu

Na Obr. 35 jsou znázorněny jednotlivé díly bagrovacího čerpadla. Díly, které mají červenou barvu, přicházejí do styku s kapalinou. Materiál, který je navulkanizován na díly je přírodní kaučuk. Kaučuk je vhodný pro dopravu hydrosměsí s ostrohrannými částicemi s velikostí do 4mm, ale zaoblené částice nemají výrazný vliv na jeho životnost. [5].

#### b) Kovový material

Druhou možností je použití tvrdé litiny nebo ocelolitiny na bázi manganu, niklu a chromu. Tato konstrukce je vhodnější pro ostrohranné částice s velikostí 20mm a větší [13].



Obr. 35 Díly horizontálního čerpadla [15]



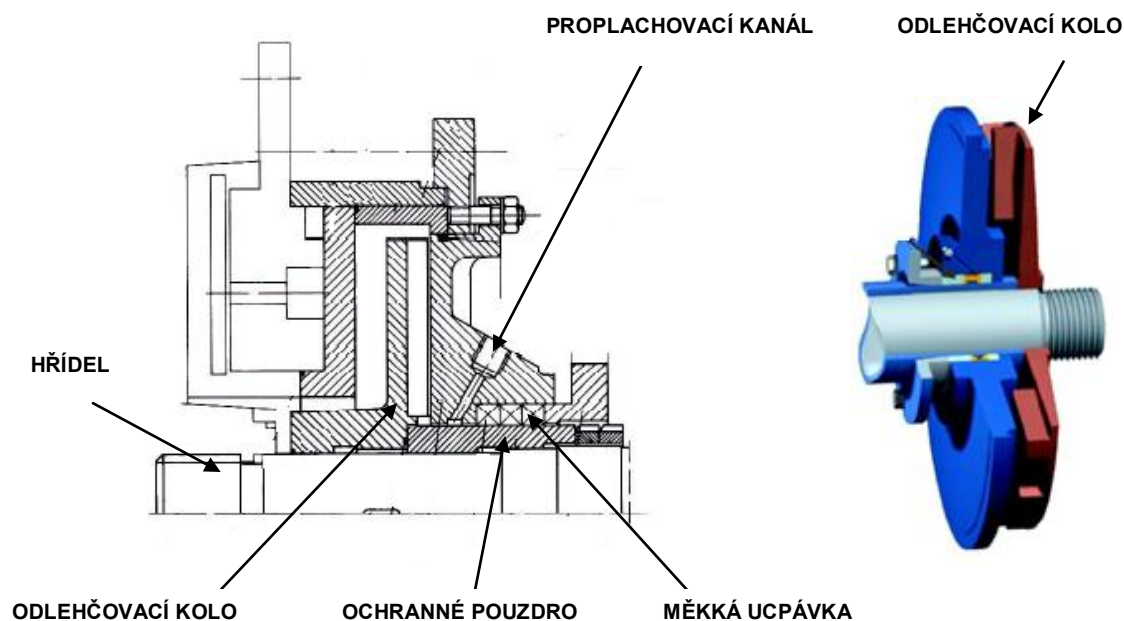
### 5.1.4 HŘÍDELOVÁ TĚSNĚNÍ

Hřídelová těsnění při dopravě čerpadly zabraňují vnikání částic z hydraulické části čerpadla do prostoru ucpávky a následně do mechanické části čerpadla. Při vniknutí čerpacího média s obsahem abrazivních částic do mechanické části dochází k rapidnímu poklesu účinnosti a poškození ložisek. V případě ponorných čerpadel může dojít i k poškození elektromotoru. Ponorná čerpadla jsou proti průniku kapaliny přes ucpávku chráněny i detektorem vlhkosti (Obr. 43).

Utěsnění těchto dvou oblastí je v místě, kde na sebe součásti navazují pomocí ucpávek různého provedení. Těsní se části, které se vzájemně posouvají nebo otáčejí [5].

#### DYNAMICKÁ UCPÁVKA

Dynamická ucpávka je tvořena jednak odlehčovacím kolem (Obr. 37), které snižuje tlak dopravované směsi na ucpávku a jednak měkkou ucpávkou. Odlehčovací kolo je umístěno v samostatné komoře hned za oběžným kolem a společně s ním se otáčí. Při nečinném stavu nemá odlehčovací kolo těsnící účinek. To je právě důvod, proč musí být jeho součástí také měkká ucpávka. Při chodu je třeba kluzné plochy mazat vodou nebo jiným médiem přes proplachovací kanál [5], [15].



Obr. 36 Dynamická ucpávka [5]

Obr. 37 Odlehčovací kolo [15]

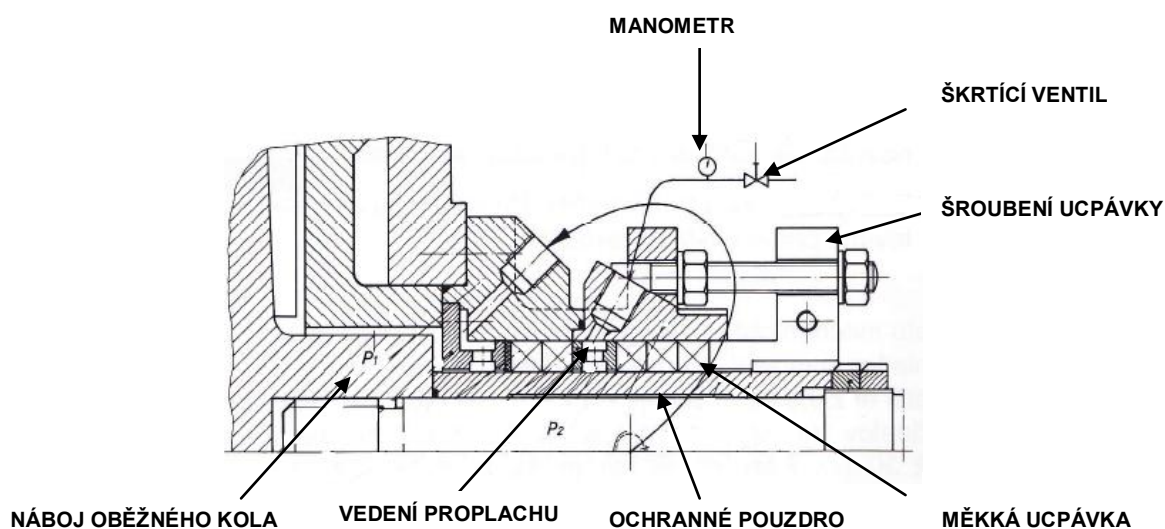
## MĚKKÁ UCPÁVKA

Měkká ucpávka se skládá z několika měkkých těsnících kroužků, které jsou stlačeny v těsnicí komoře v přesazeném poskládání, a pouzdra chránící kroužky před opotřebením. Dostatečné stlačení je prováděno pomocí šroubení (Obr. 38).

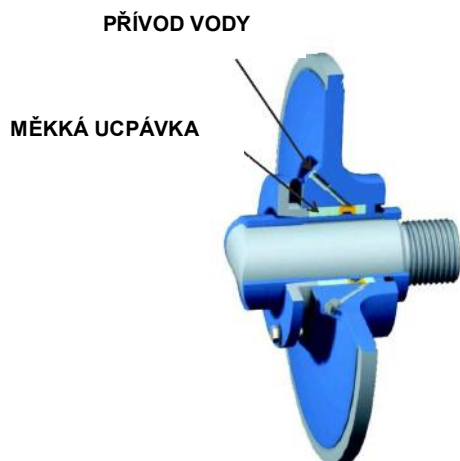
Tento druh těsnění požaduje kontinuální nebo přerušovaný proplach čistou vodou, která má zároveň mazací účinek ke snížení tření. Proplach ucpávky zajišťuje škrticí ventil, který udává správné množství vody. Součástí je také manometr, který měří hodnotu tlaku. Hodnota tlaku  $P_2$ , při níž je voda vstřikována do ucpávky, musí být větší, než je tlak  $P_1$  u náboje oběžného kola (pravidlo tlaků platí také pro ostatní uvedené ucpávky). Tlak vody  $P_2$  musí být větší, aby částice byly odplavovány z prostoru ucpávky [10], [5].

Měkkou ucpávku lze vybírat buď z takových provedení, kdy se proplachující voda částečně dostává do dopravující kapaliny nebo z provedení bez průniku.

Vlákna ucpávky jsou vyrobená z impregnovaných tvaronových vláken čtvercového profilu a expandovaného teflonu (Obr. 40) [16].



Obr. 38 Měkká ucpávka [5]



Obr. 39 Měkká ucpávka [15]



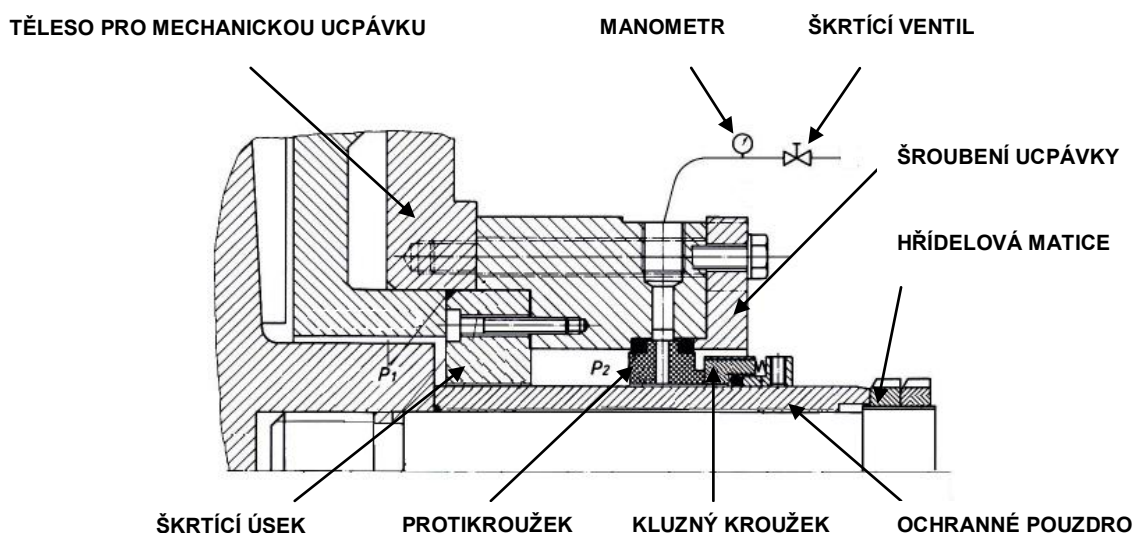
Obr. 40 Měkká ucpávka [16]

## MECHANICKÁ UCPÁVKA

Těsnící účinek ucpávky je vytvářen pomocí rotačních a nehybných těsnících kroužků, které jsou vyrobeny z karbidu křemíku, karbidu wolframu nebo elastomerů. Během činnosti může být ucpávka mazána a chlazena čistou vodou, ale některé konstrukce to nevyžadují. Mechanická ucpávka je dražší než ucpávka měkká, ale zato účinnější [3], [5], [14].

### a) MECHANICKÁ UCPÁVKA S PROPLACHEM

Jednoduchou proplachovanou ucpávku (Obr. 41) lze použít, pokud je dovolen průnik proplachovací kapaliny do dopravované kapaliny. Spotřeba vody jak pro proplach, tak pro chlazení, je v závislosti na průměru hřídelového ochranného pouzdra od 5 až po 30 l/h. Proplachující voda je vstřikována pod tlakem kruhovým kanálem. V několika vrtáních v protikroužcích je vytvářen v místech kluzného kroužku ochranný film. Během činnosti se částice nedostanou do míst kluzných ploch, neboť tlak vody  $P_2$  je větší než tlak směsi  $P_1$ . Důležitou součástí ucpávky je škrťací úsek, který minimalizuje průniky čerpané kapaliny do prostoru čerpadla [5].



Obr. 41 Jednoduchá mechanická ucpávka s proplachem [5]



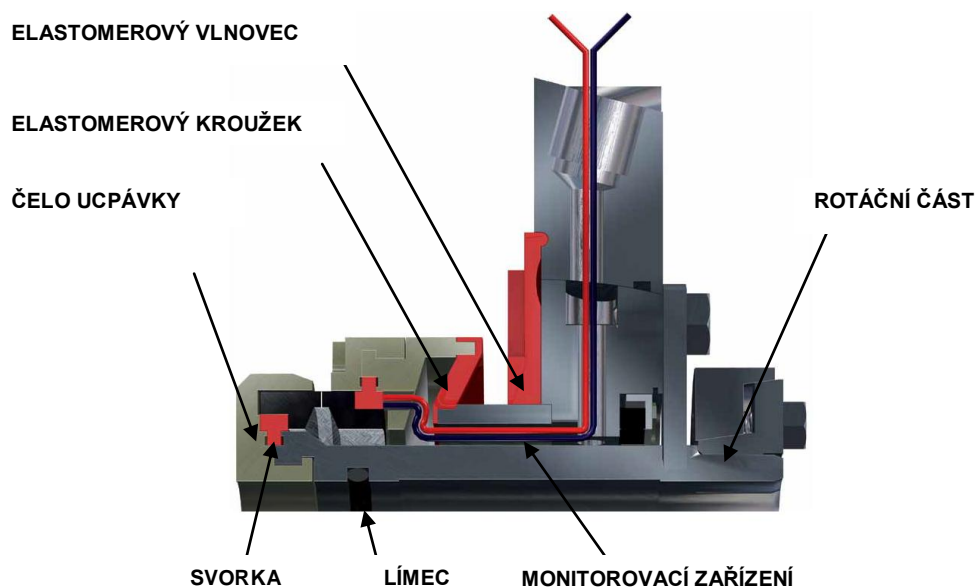
Obr. 42 Jednoduchá mechanická ucpávka s proplachem [15]

## b) MECHANICKÁ UCPÁVKA BEZ PROPLACHU

Tato mechanická ucpávka (Obr. 43) není chlazena ani mazána žádným médiem. Proti přehřátí je vybavena monitorovacím zařízením (termočlánkem), které snímá teplotu těsnících ploch.

Jádrem ucpávky je rotační jednotka, která přilne k hřídeli pomocí kruhového límce, poskytujícího maximální těsnost. Rotační jednotku chrání před průnikem částic připojené čelo ucpávky, které je vyrobeno z otěruvzdorného materiálu.

Místo obvyklých konvenčních pružin je používán stacionární elastomerový kroužek, který je navržen tak, aby stlačení a tím i těsnost byla ve všech místech ucpávky stejná. Hned vedle elastomeru se nachází elastomerový vlnovec, který eliminuje přenos vibrací z hydraulické do mechanické části čerpadla [18].



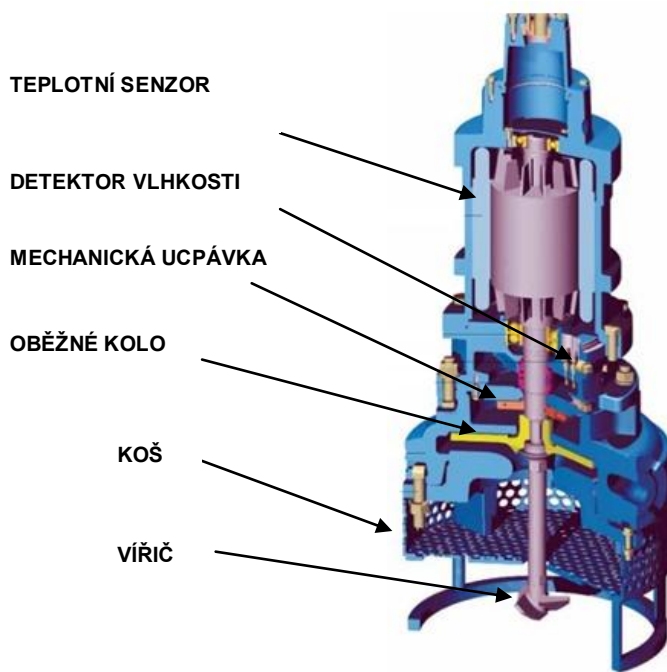
Obr. 43 Jednoduchá mechanická ucpávka bez proplachu [18]



Obr. 44 Jednoduchá mechanická ucpávka bez proplachu [18]

### 5.1.5 PONORNÁ ČERPADLA

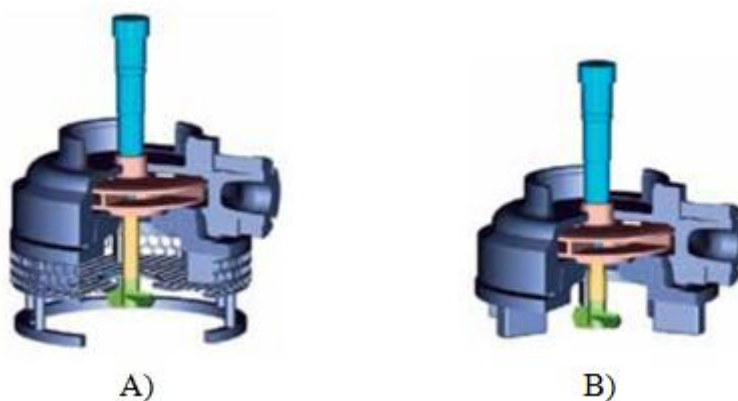
Hydraulická část čerpadla je téměř totožná s hydraulickou částí horizontálních a vertikálních čerpadel. Liší se pouze menší konstrukcí. Čerpadla využívají oběžná kola s průchodností částic až 40mm, přičemž pro redukci na požadovaný průměr částic lze použít koš na sací straně čerpadla (Obr. 45) [19], [15].



Obr. 45 Ponorné čerpadlo [19]

#### VÍŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Čerpadla jsou vybavena speciálním vířičem, který vytváří vír a tak zajišťuje efektivnější odčerpávání kapaliny s částicemi, které jsou usazeny na dně. Podle velikosti částic jsou rozlišovány dva typy vířiče (Obr. 46) [19].



Obr. 46 Varianty vířiče [19]

- A) Vířič umožňuje lepší odčerpání kapaliny s obsahem jemných částic.
- B) Z důvodu nižšího uložení ke dnu, je vytvářen větší vír, který rozpohybuje i částice hrubých rozměrů [19].

## 5.2 HYDROSTATICKÁ ČERPADLA

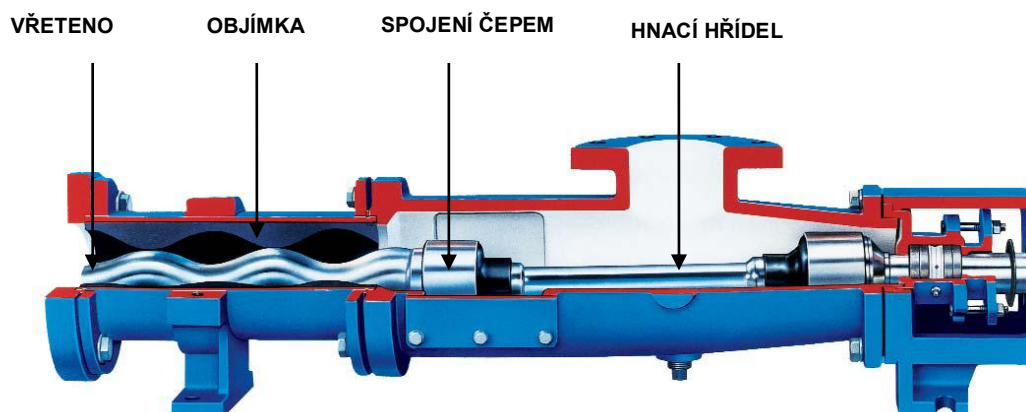
Hydrostatická (objemová) čerpadla střídají sání s výtlačkem pomocí pracovních prvků [6].

Součásti nejvíce trpící abrazí jsou ventily a pracovní prvky čerpadel. Čerpadla se používají k dopravě směsí s větší koncentrací částic (od 20 do 60 %), ale menší velikostí částic (3-6 mm) [1].

### 5.2.1 JEDNOVŘETENOVÁ ČERPADLA

Pracovním prvkem jednovřetenového čerpadla je vřeteno konající pohyb v nepohybující se objímce (Obr. 47). Otáčivým pohybem vřetena je směs tlačena v dutinách až k výtlačné části čerpadla (Obr. 48). Materiálem objímky je tvrdá litina s vložkou z přírodního kaučuku. Stejně tak vřeteno je vyrobeno z kvalitní oceli na bázi chromu a niklu. Uložení vřetena do objímky je s přesahem, a to z důvodu zajištění lepší účinnosti [20].

Přenos pro pohyb vřetena je veden přes hnací hřídel z elektromotoru a zajišťují jej kardanová nebo kolíková spojení. Tato spojení jsou chráněna před hydrosměsí tvrzeným pouzdem s elastomerem [21], [22].



Obr. 47 Vřetenové čerpadlo [22]



Obr. 48 Místa pohybu kapaliny [23]



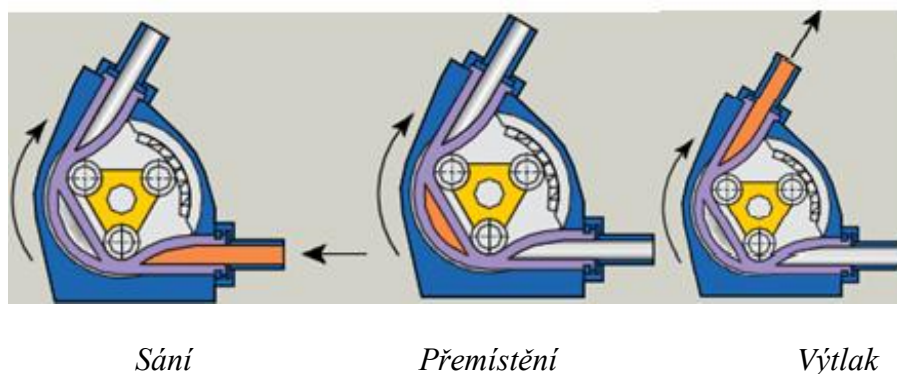
## 5.2.2 PERISTALICKÁ ČERPADLA

Peristalická (hadicová) čerpadla mají jednoduchou konstrukci, která je nenákladná na údržbu, neboť s hydrosměsí přichází do styku pouze hadice. Jejich přednosti nejsou jen v konstantním výtlaku, ale také v běhu na sucho po dobu neurčitou bez poruchy.

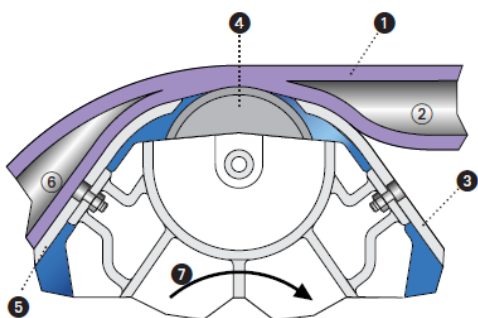
Pohyb kapaliny zajišťuje rotor se dvěma přitlačnými patkami otočených o  $180^\circ$  vůči sobě nebo třemi otočenými o  $120^\circ$ . Místo přitlačných patek je možno použít válečky o stejném počtu i uspořádání (Obr. 49).

Pokud čerpadlo přepravuje směs s velkým podílem částic, je výhodnější, aby sací otvor byl horní. Tento způsob zlepšuje vyprazdňování nahromaděných částic a tření válečků (patek) je nižší.

Hadice je vyrobena z přírodního kaučuku a je posílena několika vrstvami ze splétaných nylonových kabelů. Během komprese může částice proniknout do stěny hadice bez jejího poškození. Bezprostředně na to se částice uvolní zpět do proudící směsi. Velikost částic by neměla překročit 15 % vnitřního průměru hadice [24], [25], [26].



Obr. 49 Stlačování hadice pomocí válečků [24]



Obr. 50 Stlačování hadice [26]

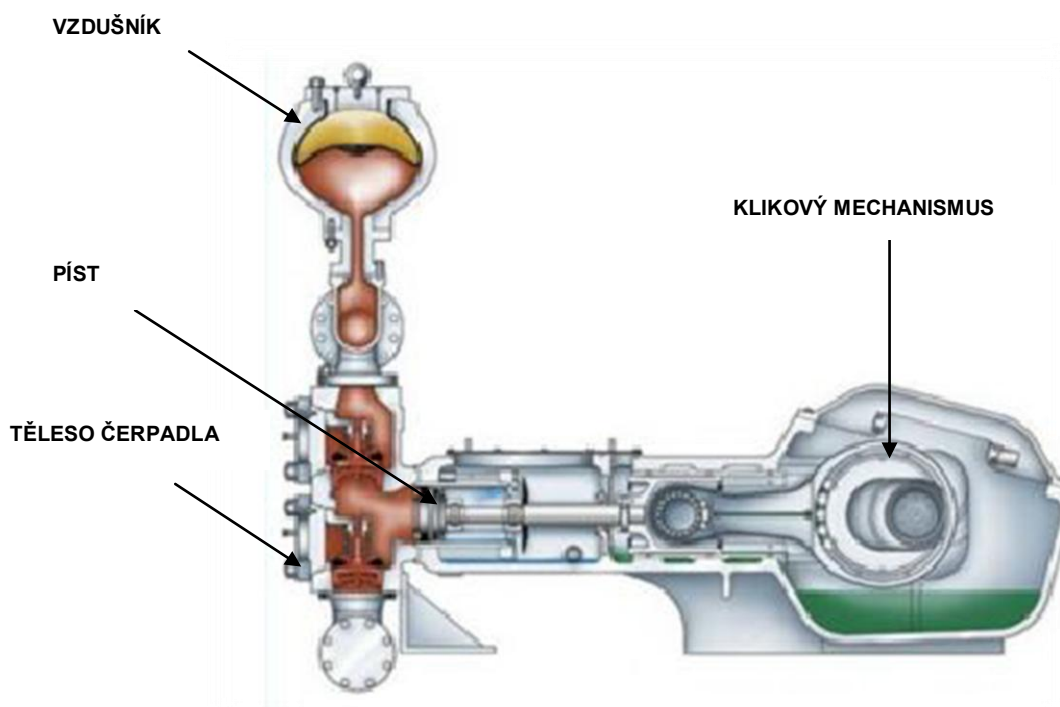
1-hadice, 2-místo výtlaku, 3 a 5-rám, 4-váleček (patka), 6-místo vedení kapaliny, 7-směr otáčení [26]

### 5.2.3 PÍSTOVÁ ČERPADLA

Pístová čerpadla vyvozují při činnosti vysoké tlaky (7-12MPa) a jsou vhodná pro dopravu směsí s obsahem jemných částic. Snížením tlakových pulzací na výstupu čerpadla je instalován vzdušník. Píst, konající vratný pohyb přichází do kontaktu s čerpanou směsí. Jeho pohybem se střídá nasávání směsi do pracovní komory čerpadla a s vytlačováním směsi z čerpadla. Píst je složen z kovového tělesa s chromovaným kroužkem a vyměnitelným těsněním. Čerpadla jsou používány jak horizontální, tak vertikální. Čerpadlo je navrženo s lichým počtem pístů, aby byly dávky překrývány. S lichým počtem pístů je dosahováno kontinuálního výtoku směsi z čerpadla.

Hydraulická část čerpadla musí být vyrobena z otěruvzdorného materiálu, nejlépe ocelolitiny. Ventily jsou voleny s ohledem na opotřebení a volný průchod částic. Jako nejlepší variantou jsou kulové nebo kuželové ventily [6].

- **Kulové ventily** – jejich pohyb je ovlivňován v závislosti na výtlačku nebo sání. Tyto ventily nejsou vhodné pro vysoké tlaky z důvodu malé těsnosti.
- **Kuželové ventily** – těsní lépe než ventily kuželové, ale jsou více obrušovány částicemi [6].



Obr. 51 Pístové čerpadlo [6]

### PULZNÍ TLUMIČE

- **Vzdušníky** – nejčastěji jsou instalovány na výtlačnou stranu čerpadla. Pulzace jsou snižovány průhybem membrány s pomocí vzduchu, který z části vyplňuje komoru.
- **Pulzní akumulátor** – pulzní akumulátor je nádoba, která je napojena zvlášť na přívod vody a zajišťuje kontinuální přívod směsi na saní čerpadla [6], [14].

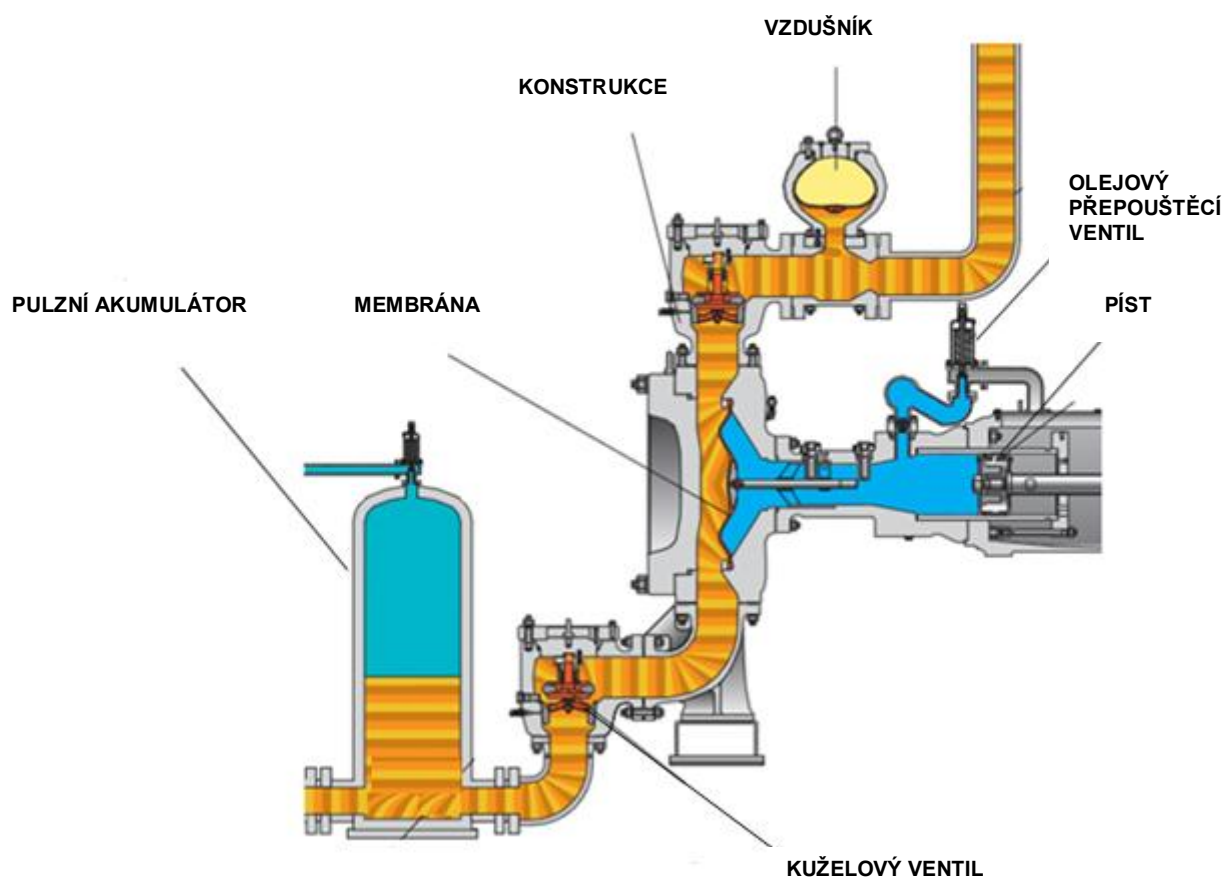


## 5.2.4 PÍSTOMEMBRÁNOVÁ ČERPADLA

Pístomembránová čerpadla umožňují dopravu směsi pomocí membrány s ventilovým rozvodem (kužellovými nebo kulovými ventily). Množství dopravované směsi závisí na průhybu membrány. Průhyb zajišťuje píst, který vyvíjí pohybem tlak na olejovou lázeň a tím i na membránu. Množství olejové lázně v komoře mezi pístem a membránou je regulováno olejovým přepouštěcím pístem [7].

Membrána je složena po obvodu z teflonové části a stejně tak vrstvou syntetického kaučuku. Jádro je vyrobeno z kovu. Pro případ poškození je membrána vybavena indikačním zařízením, které snímá těsnění membrány. Jestliže zařízení zaznamená poruchu membrány, čerpadlo se vypne. Někdy se používá tzv. dvojité membrány, z níž jedna membrána je pojistná a slouží pro případné poškození té první [27], [14].

Příklad písto-membránového čerpadla je uveden na Obr. 52.



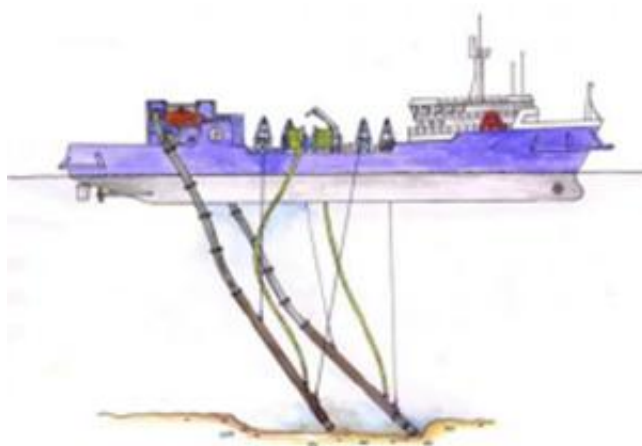
Obr. 52 Pístomembránové čerpadlo[28]

## 5.3 PROUDOVÁ ČERPADLA

### 5.3.1 MAMUTOVÁ ČERPADLA

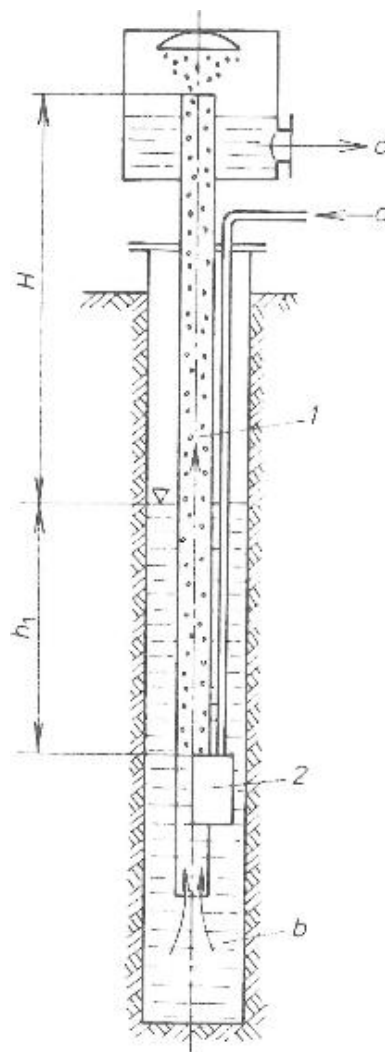
Mamutová čerpadla využívají k činnosti větší množství vzduchu, který je vháněn o tlaku 0,2MPa do sací trouby umístěné v hloubce  $h_1$ . Vzniklé bubliny vytvoří společně s hydrosměsí třífázovou směs. Jelikož hustota této směsi je menší než hustota vody, začne směs stoupat směrem vzhůru.

Tento typ čerpadel je společně s bagrovacími čerpadly používány při čerpání konkrací z mořského dna. Jejich velkou výhodou je jednoduchá konstrukce, na druhou stranu se ale vyznačují malou účinností [6], [29]



Obr. 53 Sací bagr s mamutím čerpadlem [6]

- a) tlakový vzduch
- b) sání
- c) výtlak
- 1 čerpací trouba
- 2 hubice



Obr. 54 Mamutové čerpadlo [29]

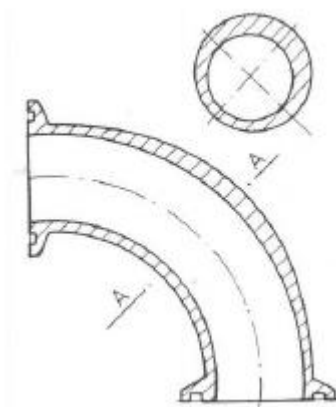
## 6. POTRUBÍ

Pro vedení kapaliny do čerpadla nebo z něj jsou používána ocelová bezešvá potrubí vyrobená z oceli 11.353 s možností úpravy. Ponorná čerpadla z důvodu mobilní instalace jsou opatřena napojenou hadicí [6].

### 6.1.1 OCELOVÁ POTRUBÍ

Ocelová potrubí jsou opatřena vložkou z taveného čediče silnou 25 mm. Potrubí bez vyvložkování jsou vyráběna s tloušťkou stěny v rozmezí 4-6 mm a délkách 2-3 m.

V obloucích je nejvíce odírána vnější stěna, protože dopad částic je pod úhlem 90°. Část vnějšího oblouku se proto zesiluje, ať už tloušťkou oceli nebo přidáním betonové vložky [6].



*Obr. 55 Oblouk [6]*

#### **RADY PRO MONTÁŽ OCELOVÉHO POTRUBÍ:** [6]

- Potrubí není vhodné ukládat do země. Je nutno zajistit snadný přístup k jednotlivým dílům, protože výměna probíhá častěji než při dopravě čisté vody. Ve spodní části potrubí dochází k většímu otěru (viz Kapitola 4.1) a proto se potrubí po míře opotřebení otáčí.
- Při montáži je důležité zvolit polohu se spádem tak, aby bylo potrubí možné vypustit v nejnižším místě.
- Při vertikální poloze je doporučeno neinstalovat potrubí pod úhlem 35-55°, protože jsou to polohy, při níž je potrubí částicemi nejvíce odíráno.
- Používat co nejmenší počet oblouků a armatur.

## 6.1.2 HADICE

Hadice jsou používány buď tehdy, když je potřeba současně při čerpání měnit polohu, nebo když je potřeba zjednodušit napojení na ocelové potrubí. Můžou být napojována potrubí jiného průměru druhého konce, které může být také použito ke změně tlaku (Obr. 57).

Základním materiálem hadic je přírodní kaučuk zpevněný nylonem nebo kevlar. Lepší zpevnění se také dosahuje použitím ocelového drátu, který na povrchu hadice vytváří zvlnění (Obr. 56). Pokud hadice není zpevněna ocelovým drátem, může při dosažení kritického poloměru ohybu dojít k vnitřnímu poškození. Poloměr ohybu závisí na tloušťce hadice a jejím zpevnění. Z hlediska delší životnosti je doporučen provozní úhel ohybu menší nebo roven  $90^\circ$ .

Konce hadice jsou opatřeny hliníkovými nebo litinovými přírubami, které nepřichází do kontaktu s dopravovanou kapalinou. Otočná příruba může být přišroubována na pevnou přírubu, čímž je umožněno otáčení hadice [30].

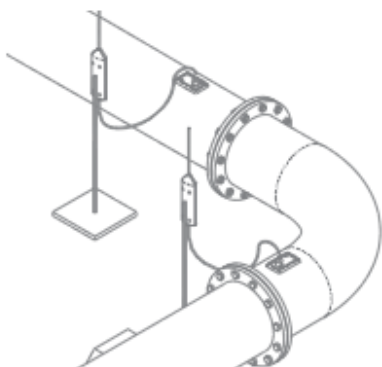
Pro kontrolu opotřebení lze instalovat indikátor opotřebení (Obr. 58).



*Obr. 56 Zvlněná hadice [30]*



*Obr. 57 Rozšířená hadice [30]*



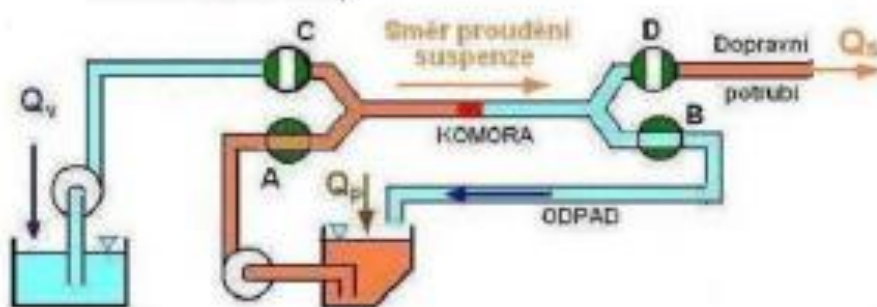
*Obr. 58 Indikátor opotřebení [30]*

## 7. SYSTÉMY DOPRAVY HYDROSMĚSÍ

### 7.1 KOMOROVÝ DÁVKOVAČ

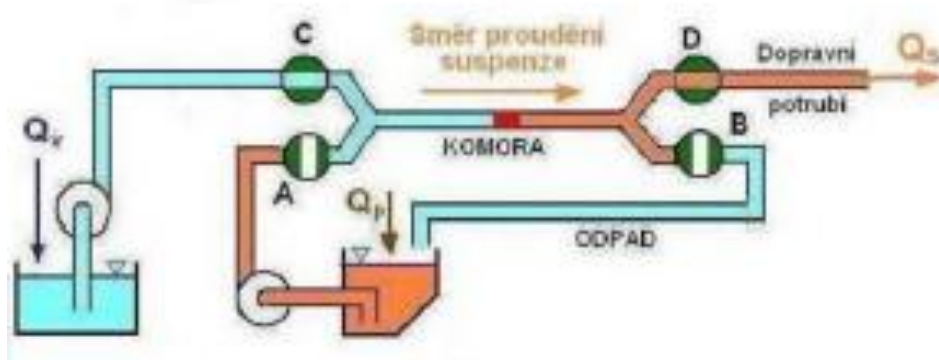
Systém pro doravu hydrosměsi se skládá z komorového dávkovače a dvojicí čerpadel. Dávkovač je opatřen plovákem a několika samočinnými ventily. Celý princip činnosti spočívá v "ostřiku" hydrosměsi vodou pod vysokým tlakem. Pro "ostřik" pod vysokým tlakem jsou vhodné čerpadla plunžrová nebo pístová. Při "ostřiku" směsi vodou může v komoře zůstat zbytkové množství směsi, které je při opakovaném plnění odplaveno zpět do nádrže se směsí. Množství směsi čerpané do komory kontroluje plovák. Proces plnění a vyprázdnění je znázorněn na obrázcích níže [6].

#### a) Plnění komory



Obr. 58 Schéma plnění komory [6]

#### b) Vyprazdňování komory



Obr. 59 Schéma vyprazdňování komory [6]

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámit čtenáře s problematikou dopravy kapalin obsahující abrazivní částice. Uvědomit si důležitost této problematiky, neboť v uvedených průmyslových oblastech se s ní běžně setkáváme.

Tato bakalářská práce popisuje také konstrukční úpravy a materiálovou ochranu. Jedná se především o pracovní prvky čerpadel, které udávají pohyb kapalině. Kanály oběžných kol vyznačující se větší průchodností a menším počtem. Materiálová ochrana je volena s ohledem na podmínky, v nichž má být čerpadlo použito. Na oběžném kole a spirále lze vytvořit elastomerový povrch. Někdy je třeba rozhodnutí zvážit, protože elastomer podléhá ostrohranným tvarům částic, tudíž lepší volbou je pouze kov.

V práci jsou detailněji popsána hydrodynamická čerpadla, protože jsou pro tuto dopravu používána více, než čerpadla hydrostatická. Důvodem je lepší průchodnost částic pracovními prvky čerpadla. Pístová hydrostatická čerpadla jsou používána na dopravu hustých směsí s obsahem malých velikostí zrn. Konstrukce pístového čerpadla je velmi podobná plunžrovým čerpadlům. Plunžrová čerpadla se z důvodu nedokonalého utěsnění plunžru téměř nepoužívají a tak čerpadla jsou nahrazována pístovými.

Pro návrh dopravního zařízení je třeba znát také proudění kapaliny v nich. I touto problematikou se tato práce zabývá. Byly popsány pohyby částic v kapalině s doporučením volby rychlostí, která je důležitá pro opotřebení a ucpání v případě velkého množství částic.

Při návrhu zařízení pro tuto dopravu je potřeba počítat s vyššími finančními náklady, než je tomu u běžných čerpadel na čistou vodu. Touto problematikou se zabývá už několik let řada podniků a stále není úplně vyřešena. Nicméně významného pokroku bylo dosaženo v oblasti vytváření nových technologií, ať už z hlediska materiálového, při níž se zlepšuje odolnost proti opotřebení, nebo z hlediska tvaru jednotlivých konstrukčních uzlů pro minimalizování styku abrazivních částic s díly čerpadla. Celý proces je tedy založen na návrhu, výpočtu a v poslední řadě na zkušebnictví, jelikož výpočty nelze dosáhnout přesných výsledků.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MELICHAR, Jan a Jaroslav BLÁHA. *Problematika soudobé čerpací techniky: vybrané partie*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007, 265 s. ISBN 978-80-01-03719-5
- [2] SLURRY HANDBOOK [online]. [cit. 2013-04-04]. FLYGT. Dostupné z: <<http://www.flygt.com.ar/878996.pdf>>
- [3] GOODWIN PLC [online]. [cit. 2013-05-19]. *Submersible slurry pumps*. Dostupné z: [http://www.goodwininternational.co.uk/pumps/uk/submersible\\_slurry\\_pumps\\_videos.php](http://www.goodwininternational.co.uk/pumps/uk/submersible_slurry_pumps_videos.php)
- [4] *Panzer Tauchpumpen*, Toyo Pumps Europe, 2010, informační leták
- [5] *Čerpadla a čerpání: soubor firemních prospektů a katalogů*. [S.l.: s.n., 199--], 1 pořadač
- [6] Janalík, J.: *Potrubní hydraulická a pneumatická doprava - Rozšířené a upravené vydání*, VŠB-TU Ostrava, 2010 [cit. 2013-04-04] Dostupné z: <<http://www.338.vsb.cz/PDF/HaPDRozsirenePDF.pdf>>
- [7] BALAKOM\_sbornik [pdf, online]. [cit. 2013-04-04] Dostupné z: <[http://www.podporakomaxit.cz/konference/BALAKOM\\_sbornik.pdf](http://www.podporakomaxit.cz/konference/BALAKOM_sbornik.pdf)>
- [8] SUCHÁNEK, Jan, Vladimír KUKLÍK a Eva ZDRAVECKÁ. *Abrázivní opotřebení materiálů*. Praha: [České vysoké učení technické], 2007, 162 s. ISBN 978-80-01-03659-4.
- [9] KARASSIK, Igor J. *Pump handbook*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2008, xx, ca 2000 s. ISBN 9780071460446.
- [10] *Slurry Pump Handbook - 2009* [online]. Fifth Edition. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <<http://www.weirminerals.com/pdf/Slurry%20Pumping%20Handbook%20202009.pdf>>
- [11] GRUNDFOS WASTEWATER [online]. [2013-05-17]. *The Sewage Pumping Handbook*, 2011. Dostupné z: <<http://www.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20%26%20solutions/waterutility/pdf/sewage-handbook.pdf>>
- [12] MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje: část čerpadla*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 139 s. ISBN 978-80-01-04383-7.
- [13] Janalík, J.: *Kalová čerpadla pro čerpání suspenzí – Studijní opora*, VŠB-TU Ostrava, 2011 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <[http://www.338.vsb.cz/PDF/Kalova\\_cerpadla.pdf](http://www.338.vsb.cz/PDF/Kalova_cerpadla.pdf)>
- [14] BLÁHA, Jaroslav a Karel BRADA. *Průručka čerpací techniky*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1997, 289 s. ISBN 80-010-1626-9.
- [15] *The Linatex CT Range of, Hard Metal, High Head, Pumps*, Linatex, 2008, firemní prezentace

- [16] HENNLICH TĚSNĚNÍ [online]. [cit. 2013-05-17]. *Ucpávkové těsnící šňůry*. Dostupné z: <<http://tesneni.hennlich.cz/uploads/914.pdf>>
- [17] GRUNDFOS INDUSTRY [online]. [cit. 2013-05-19]. *Pump Handbook*, Dostupné z: <[http://net.grundfos.com/doc/webnet/mining/\\_downloads/pump-handbook.pdf](http://net.grundfos.com/doc/webnet/mining/_downloads/pump-handbook.pdf)>
- [18] WARMAN® Centrifugal Slurry Pumps [online]. [cit. 2013-05-17]. *Mechanical Seal*. Dostupné z: <<http://www.weirminerals.com/pdf/20120817%20Warman%20Mechanical%20Seal%20Brochure.pdf>>
- [19] WARMAN® Centrifugal Slurry Pumps [online]. [cit. 2013-05-17]. *SHW Submersible Slurry Pump*. Dostupné z: <<http://www.weirminerals.com/pdf/20120822%20Warman%20SHW%20brochure.pdf>>
- [20] NETZSCH Pumpen and Systeme GmbH [online]. [cit. 2013-05-17]. *Geometrical models*. Dostupné z: <<http://www.netzsch-pumpen.de/en/products-solutions/nemo-progressing-cavity-pumps/627.pdf>>
- [21] NETZSCH Pumpen and Systeme GmbH [online]. [cit. 2013-05-17]. *Progressing cavity pumps*. Dostupné z: <<http://www.netzsch-pumpen.de/en/consulting-service/original-netzsch-sparespart/progressing-cavity-pumps.pdf>>
- [22] MOYNO ® 1000 Pumps [online]. [cit. 2013-05-17]. *Productivity-Boosting Performance Edge*. Dostupné z: [http://www.multiphase-corp.com/pdf/MIP1000pumps\\_05-11.pdf](http://www.multiphase-corp.com/pdf/MIP1000pumps_05-11.pdf)
- [23] ROTOFLOW [online]. [2013-05-17]. *Progressive cavity pumps, DC Series*. Dostupné z: <<http://www.rotopumps.co.uk/dc%20brochure.pdf>>
- [24] PCM DELASCO [online]. [cit. 2013-05-18]. *Hose Pumps Z Series*. Dostupné z: <[http://www.pcm-pump.com/upload/gestionFichiers/GB-Z\\_806.pdf](http://www.pcm-pump.com/upload/gestionFichiers/GB-Z_806.pdf)>
- [25] PSG DOVER [online]. [cit. 2013-05-18]. *Pumps AB10A, AB20A*. Dostupné z: <<http://www.psgdover.com/assets/blackmer/myapp/PDF/1103-a00.pdf>>
- [26] PCM DELASCO [online]. [cit. 2013-05-18]. *Peristaltic pumps DL Series*. Dostupné z: <[http://www.pcm-pump.com/upload/gestionFichiers/GB-DL\\_805.pdf](http://www.pcm-pump.com/upload/gestionFichiers/GB-DL_805.pdf)>
- [27] TAPFLO s.r.o. [online]. [cit. 2013-05-19]. *Diaphragm pumps catalogue*. Dostupné z: <<http://www.urbeweb.cl/agrominweb/bombatapflo.pdf>>
- [28] GEHO® PD Slurry Pumps [online]. [cit. 2013-05-19]. *Key features of the crankshaft driven piston diaphragm slurry pump*. Dostupné z: <<http://www.weirminerals.com/PDF/brochure%20key%20features%20geho%20piston%20diaphragm%20pumps.pdf>>
- [29] *Proudová čerpadla* [online]. c2008 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-08.05\\_cerpadlaproudova.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-08.05_cerpadlaproudova.pdf)
- [30] LINATEX® Rubber Product [online]. [cit. 2013-05-17]. *Linatex Hose Range*. Dostupné z: <<http://www.weirminerals.com/pdf/20120827%20Linatex%20Hose%20Product%20Brochure.pdf>>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Čerpání uhelných kalů z rybníka ponorným čerpadlem [3].....	10
Obr. 2 Čerpání znečištěné vody ve stavebním průmyslu [4].....	10
Obr. 3 Čerpací stanice v hlubinném dole [5].....	10
Obr. 4 Odčerpávání vody s jemnými částicemi při úpravě kamene [3].....	10
Obr. 5 Velikosti částic [1].....	11
Obr. 6 Kulatý tvar zrna [2].....	12
Obr. 7 Ostrohranný tvar zrna [2].....	12
Obr. 8 Tvrdosti vybraných částic [8].....	12
Obr. 9 Deformace povrchu [9].....	13
Obr. 10 Řezání povrchu ostrohrannými částicemi [9].....	13
Obr. 11 Tvorba trhlin v materiálu [9].....	13
Obr. 12 Pohyb klouzavý nebo valením [6].....	14
Obr. 13 Pohyb saltací [6].....	14
Obr. 14 Pohyb ve vrstvách [6].....	14
Obr. 15 Vrstva s nánosem [6].....	14
Obr. 16 Pohyb s nánosem [6].....	15
Obr. 17 Unášené částice v proudu kapaliny [6].....	15
Obr. 18 Graf znázorňující hodnoty kritické rychlosti suspenze (voda-písek) v závislosti na středním průměru částice, při konstantní transportní objemové koncentraci ( $C_T$ ) a konstantním průměru potrubí ( $D_P$ ) [1].....	16
Obr. 19 Graf znázorňující hodnoty kritické rychlosti suspenze (voda-písek) v závislosti na transportní objemové koncentraci ( $C_T$ ), při konstantní střední velikosti částice a konstantním průměru potrubí ( $D_P$ ) [1].....	16
Obr. 20 Horizontální bagrovací čerpadlo [6].....	17
Obr. 21 Vertikální bagrovací čerpadlo [6].....	17
Obr. 22 Ponorné čerpadlo [6].....	17
Obr. 23 Profil oběžného kola s jednoduchým a Francisovým tvarem lopatky [10].....	18
Obr. 24 Odlehčovací lopatky [1].....	19
Obr. 25 Standardní oběžná kola: A) Uzavřené, B) Otevřené, C) Pětílopatkové; Nestandardní: A) Třílopatkové šterkové, B) Dvoulopatkové speciální [10].....	19
Obr. 26 Jednolopátkové uzavřené oběžné kolo [11].....	20
Obr. 27 Dvoulopatkové uzavřené oběžné kolo [11].....	20
Obr. 28 Vířivé oběžné kolo Vortex [11].....	21
Obr. 29 Proudnice kapaliny v kanálu vířivého oběžného kola s použitím krycího límce(vpravo) a bez krycího límce (vlevo) [1].....	21
Obr. 30 Vícílopatkové otevřené oběžné kolo [12].....	21
Obr. 31 Uzavřené (vlevo) a otevřené (vpravo) třílopatkové oběžné kolo [14].....	22
Obr. 32 Zleva: klasická spirála, pseudocentrická, centrická [14].....	22
Obr. 33 Změna proudnice pro čistou vodu (vlevo) a pro kapaliny s obsahem abrazivních částic (vpravo) [14].....	23
Obr. 34 Polohy čerpadel [10].....	23
Obr. 35 Díly horizontálního čerpadla [15].....	24
Obr. 36 Dynamická ucpávka [5].....	25
Obr. 37 Odlehčovací kolo [15].....	25
Obr. 38 Měkká ucpávka [5].....	26

Obr. 39 Měkká ucpávka [15].....	26
Obr. 40 Měkká ucpávka [16].....	26
Obr. 41 Jednoduchá mechanická ucpávka s proplachem [5].....	27
Obr. 42 Jednoduchá mechanická ucpávka s proplachem [15].....	27
Obr. 43 Jednoduchá mechanická ucpávka bez proplachu [18].....	28
Obr. 44 Jednoduchá mechanická ucpávka bez proplachu [18].....	28
Obr. 45 Ponorné čerpadlo [19].....	29
Obr. 46 Varianty víříče [19].....	29
Obr. 47 Vřetenové čerpadlo [22].....	30
Obr. 48 Místa pohybu kapaliny [23].....	30
Obr. 49 Stlačování hadice pomocí válečků [24].....	31
Obr. 50 Stlačování hadice [26].....	31
Obr. 51 Pistové čerpadlo [6].....	32
Obr. 52 Pistomembránové čerpadlo[28].....	33
Obr. 53 Sací bagr s mamutím čerpadlem [6].....	34
Obr. 54 Mamutové čerpadlo [29].....	34
Obr. 55 Oblouk [6].....	35
Obr. 56 Zvlněná hadice [30].....	36
Obr. 57 Rozšířená hadice [30].....	36
Obr. 57 Indikátor opotřebení [30].....	36
Obr. 58 Schéma plnění komory [6].....	37
Obr. 59 Schéma vyprazdňování komory [6].....	37